

ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA EM CULTURA DE SOJA¹

MÁRIO JOSÉ PEDRO JÚNIOR² e NILSON AUGUSTO VILLA NOVA³

RESUMO - Dados micrometeorológicos obtidos em cultura de soja foram usados para estimar a resistência da cultura e a resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água através do método do balanço de energia. A resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água foi cerca de 10 s/m no período entre 9 e 16 horas e a variação da resistência da cultura foi de 50 a 100 s/m durante os períodos de maior disponibilidade de radiação líquida à cultura.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, resistência aerodinâmica.

ESTIMATE OF THE RESISTANCE TO WATER VAPOR TRANSPORT IN SOYBEAN CROP

ABSTRACT - Micrometeorological data obtained on a soybean crop was used to estimate the crop and the aerodynamic resistances to water vapor transport using the energy balance concept. The aerodynamic resistance to water vapor transport was about 10 s/m from 9:00 A.M. to 4:00 P.M. and the crop resistance varied from 50 to 100 s/m during periods of higher net radiation.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, aerodynamic resistance.

INTRODUÇÃO

O método do balanço de energia em culturas é normalmente utilizado para determinação dos fluxos de calor latente e sensível, a partir de medidas da radiação líquida, do fluxo de calor no solo e dos gradientes de concentração de vapor d'água e de temperatura do ar, acima do topo da cultura.

Segundo Perrier et al. (1975), o método do balanço de energia possibilita, também, estimar a resistência imposta pelo sistema planta-atmosfera ao transporte de vapor d'água.

Esse parâmetro quantifica, em determinado meio ambiente, a restrição ao processo evaporativo de uma comunidade vegetal em função de sua estrutura e fisiologia, permitindo a avaliação de índices de controle fisiológico da perda d'água que visam caracterizar a resistência à seca de culturas agrícolas.

Existem diferentes métodos para a determinação da resistência ao fluxo de calor latente. Raschke (1960) propôs um método para a medida indireta da resistência da folha, através de determinações

simultâneas da transpiração, da temperatura e do balanço de radiação da folha, além da temperatura do ar e da pressão de vapor ambiente.

Monteith (1963) e Brown & Rosemberg (1973) propuseram modelos de cálculo de evapotranspiração que levavam em consideração a resistência ao fluxo de vapor d'água, através dos estômatos das folhas, e a resistência ao transporte de calor e/ou vapor d'água através da camada adjacente turbulenta.

Como a maioria dos modelos necessita da determinação da temperatura da folha ou do topo da cultura, Perrier et al. (1975) apresentaram uma metodologia que, utilizando a determinação do balanço de energia, possibilitava a avaliação, a qualquer instante, da resistência oferecida pela massa vegetal ao transporte de vapor d'água.

Este trabalho teve por objetivo utilizar esta aplicação do método do balanço de energia para determinar a resistência da camada de ar adjacente ao topo da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Campinas, do Instituto Agronômico, situado a 22°53'S, 47°04'W, a uma altitude de 706 m. A cultura utilizada no experimento foi a soja (cultivar Santa Rosa), plantada numa área de 3 ha, com 0,70 m de espaçamento entre linhas e semeadura de, aproximadamente, 30 sementes por metro linear.

¹ Aceito para publicação em 7 de junho de 1983.

² Eng^o - Agr^o, Ph.D., Agrometeorologista, Seção de Climatologia Agrícola - Instituto Agronômico, CEP 13000 - Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng^o - Agr^o, Professor Livre-Docente, Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da USP, CEP 13400 - Piracicaba, SP.

No centro da área cultivada foram instalados:

- radiômetro líquido (Middleton & Co. Pty. Ltd. - Austrália), mantido cerca de um metro acima do topo da cultura, acoplado a um potenciômetro (Flatbed Recorder BD7 - Kipp & Zonen - Holanda);
- conjunto psicrométrico com termopares de ferro-constantã instalados em microabrigos, construídos com tela (malha de 1 mm) pintada de branco, instalados a 1,20 m e 1,75 m (sendo a altura do topo da cultura de 1,1 m) e acoplados a um potenciômetro (Leeds and Northrup Co. Model 8690 - USA);
- placas medidoras do fluxo de calor no solo (Middleton & Co. Pty. Ltd. - Austrália) em número de quatro, montadas a 0,01 m de profundidade na projeção do radiômetro líquido, acopladas a um potenciômetro (Labograph E-428 - Metrohm - Herisau - Suíça).

O método do balanço de energia permite avaliação de parâmetros que traduzem a reação do vegetal às condições de alimentação hídrica (Perrier et al. 1975). A metodologia utilizada pelos referidos autores é descrita, a seguir, para melhor entendimento do leitor.

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) de uma cobertura vegetal pode ser obtida por:

$$ETP = \frac{s(Rn + G) + \gamma E_a}{s + \gamma} \quad (1)$$

$$E_a = \frac{LM}{RT} s \frac{(T_1 - T_0)}{r_a} \quad (2)$$

onde s é a tangente à curva de tensão de saturação na temperatura T , que é obtida como $\frac{T_1 + T_0}{2}$; T_1 , a tempe-

ratura do ar medida no nível Z_1 (topo da cultura); T_0 , a temperatura do ponto de orvalho no nível Z_1 ; Rn , a radiação líquida; G , o fluxo de calor no solo; γ , a constante psicrométrica; L , o calor latente de vaporização da água; M , razão das massas moleculares da água e do ar; R , a constante universal dos gases; e r_a , resistência aerodinâmica ao transporte de vapor de água entre a superfície da cobertura vegetal e um nível de referência.

De acordo com a maioria dos autores, inclusive Perrier et al. (1975), ao se exprimir a evapotranspiração real (ETR) em função de ETP, deve-se definir uma resistência suplementar (r_v) que se aplica ao percurso da câmara estomática ao exterior da folha, sendo, portanto, estreitamente ligada ao grau de abertura dos estômatos, que depende da regulação hídrica da cobertura vegetal.

$$ETR = \frac{s(Rn + G) + \gamma E_a}{s + \gamma \left(\frac{r_a + r_v}{r_a} \right)} \quad (3)$$

$$ETR = \frac{ETP}{1 + \frac{\gamma}{s + \gamma} \frac{r_v}{r_a}} \quad (4)$$

Resistência crítica da cobertura vegetal

Derivando-se a equação (3) em função de r_a , pode-se obter um valor crítico da resistência da cobertura vegetal (r_{vc}):

$$r_{vc} = \frac{LM}{RT} \frac{(s + \gamma)(T_1 - T_0)}{Rn + G} \quad (5)$$

Esta resistência dá condições à ocorrência da menor evapotranspiração potencial possível para dado $(Rn + G)$ e ocorre quando, sobre uma superfície úmida, o gradiente de tensão de vapor é mínimo.

O conhecimento do valor de r_{vc} é necessário à estimativa da resistência da cobertura vegetal ao transporte do vapor d'água.

Resistência da cobertura vegetal

As equações (2) e (4) permitem a determinação de r_v sem se conhecer, simultaneamente, os valores de ETP e ETR. Adotando o conceito da razão de Bowen (β) como:

$$\beta = \frac{(Rn + G + ETR)}{ETR} \quad (6)$$

e exprimindo-se E_a em função de r_{vc} , a partir das equações (2) e (5), obtém-se:

$$r_v = r_a \left(\frac{s}{\gamma} \beta - 1 \right) + r_{vc} \frac{s}{s + \gamma} (\beta + 1) \quad (7)$$

O valor de r_v pode, portanto, ser calculado a partir de dados do balanço de energia, da resistência crítica e da resistência aerodinâmica do ar.

A razão de Bowen pode ser obtida, de acordo com Webb (1965), por:

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{s + \gamma}{\gamma} \right) \left(\frac{\Delta T_u}{\Delta T} \right) - 1} \quad (8)$$

onde ΔT_u é a diferença de temperatura de bulbo úmido e ΔT a diferença de temperatura de bulbo seco entre os níveis de medida (Z_1 e Z_2).

Existem vários métodos para estimar a resistência aerodinâmica; no presente trabalho, ela foi calculada por:

$$r_a = \rho C_p \frac{\Delta T}{H} \quad (9)$$

onde ρ é a densidade do ar; C_p , o calor específico à pressão constante; ΔT , a diferença de temperatura entre dois níveis acima do topo da cultura; e H , o fluxo de calor sensível, estimado através do método do balanço de energia, aliado ao conceito da razão de Bowen:

$$H = \beta ETR \quad (10)$$

onde ETR foi obtido pela expressão:

$$ETR = \frac{Rn + G}{1 + \beta} \quad (11)$$

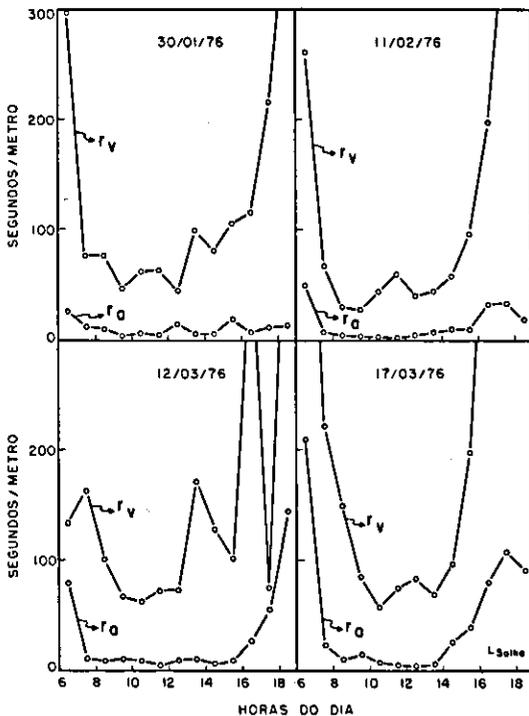


FIG. 1. Variação horária das estimativas da resistência da cultura (r_v) e aerodinâmica (r_a) ao transporte do vapor d'água em soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas determinações do balanço de energia e estimativas das resistências ao fluxo de vapor d'água em cultura de soja (Fig. 1) em: 30.01.76, 11.02.76, 12.03.76 e 17.03.76, respectivamente, 61, 73, 102 e 107 dias após o plantio. As determi-

nações foram feitas sempre que precedidas por um período chuvoso para uniformização das condições de advecção.

A resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água é normalmente calculada com base na velocidade do vento, da qual é uma função inversa. No presente trabalho, a estimativa de r_a foi baseada no gradiente de temperatura e no fluxo de calor sensível acima do topo da cultura. Para fins práticos, consideraram-se as resistências do ar ao transporte de vapor d'água e de calor como valores aproximadamente iguais.

Os valores de r_a , encontrados por Verma et al. (1976) para a cultura do sorgo, foram da ordem de 10 a 13 s/m, alcançando em alguns dias 20 s/m. Plaut & Moreshet (1973) citam trabalho de Stanhill & Moreshet, no qual $r_a = 20$ s/m para a cultura do algodoeiro. Esses valores de r_a são da mesma ordem de grandeza daqueles encontrados para a soja, no período das 9 às 16 horas (cerca de 10 s/m). Durante as primeiras horas da manhã e as últimas horas da tarde, os valores de r_a foram mais elevados devido aos baixos valores do fluxo de calor sensível.

A resistência da cultura (r_v) ao transporte de vapor d'água exprime a resistência oferecida globalmente pela massa vegetal à difusão do vapor d'água, a um determinado nível superior da cobertura.

Segundo Brown & Rosemberg (1973), o valor da resistência da cultura excede de cinco a sete vezes o valor de r_a . Tal fato ocorreu, às vezes, com os valores encontrados para a soja neste trabalho.

Plaut & Moreshet (1973) apresentam os seguintes resultados dos valores mais baixos de r_v para diferentes espécies: beterraba: 50 s/m; girassol: 70 s/m; batata: 90 s/m; algodão: 160 s/m; e feijão: 480 s/m.

Os resultados obtidos para a soja, considerando os valores de resistência vegetal nas horas em que a radiação líquida era mais elevada, mostraram-se variando entre 40 e 100 s/m, na maioria das vezes. No dia 12.03.76, entre as 14 e 16 horas, ocorreram valores de r_v mais altos (179, 125 e 105 s/m), restringindo o processo de transpiração nas horas mais quentes do dia.

A Fig. 1 mostra que houve um aumento no valor de r_v , no período das 10 às 12 horas, no dia

11.02.76. Isto concorreu para que houvesse uma restrição ao processo evaporativo diminuindo o fluxo de calor latente (Pedro Júnior & Villa Nova 1981). No dia 12.03.76, a r_v atingiu valores da ordem de 80 a 150 s/m na parte da tarde, restringindo também o processo evaporativo.

As resistências r_a e r_v foram calculadas em função do fluxo de calor sensível e em função da razão de Bowen. Portanto, sempre que ocorrer advecção ou valores elevados de β , positivos ou negativos, haverá erros nas estimativas de r_v e r_a , pois, nessas condições, o balanço de energia possui limitações impostas pelo erro conceitual do método.

A variação horária de r_a e r_v , mostrada na Fig. 1, possui a mesma tendência encontrada pela maioria dos autores citados na literatura para diferentes culturas. Isto indica que o método pode ser aplicado para a estimativa da resistência vegetal ao transporte de vapor d'água. Porém, para uma melhor utilização do método e obtenção de valores absolutos de r_v , torna-se necessária a comparação das estimativas com valores medidos da resistência da cobertura vegetal do transporte do vapor d'água.

REFERÊNCIAS

- BROWN, K.W. & ROSEMBERG, N.J. A resistance model to predict evapotranspiration and its application to a sugar beet field. *Agron. J.*, 65:341-7, 1973.
- MONTEITH, J.L. Gas exchange in plant communities. In: Evans, L.T. ed. *Environmental control of plant growth*. Nova York, Londres, Academic Press, 1963. 449p.
- PEDRO JÚNIOR, M.J. & VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia em soja (*Glycine max* L. Merr). *Turrialba*, 31(4):309-12, 1981.
- PERRIER, A.; ITIER, B.; BERTOLINI, J.M. & BLANCO DE PABLOS, A. Mesure automatique du bilan d'énergie d'une culture. Exemples d'application. *Ann. Agron.*, 26:19-40, 1975.
- PLAUT, Z. & MORESHET, S. Transport of water in plant-atmosphere system. In: YARON, B.; DANFORS, E. & VAADIA, Y. ed. *Arid Zone Irrigation*. Berlin, Springer Verlag, 1973. 434p.
- RASCHKE, K. Heat transfer between the plant and the environment. *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 11:111-26, 1960.
- VERMA, S.B.; ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L. & BARADAS, M.W. Resistance energy balance method for predicting evapotranspiration: determination of boundary layer resistance and evaluation of errors effect. *Agron. J.*, 68:776-82, 1976.
- WEBB, E.K. Aerial microclimate. *Met. Monogr.*, 6:27-58, 1965.